

PENENTUAN SUDUT LENGAN ROBOT HUMANOID BERDASARKAN KOORDINAT YANG DIKIRIM DARI PC MENGGUNAKAN *USER INTERFACE* YANG DIBUAT DARI Qt

Adiyatma Ghazian Pratama¹, Ir. Nurussa'adah, MT.², Mochammad Rif'an, ST., MT.³
Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: adiyatmagp@gmail.com

Abstrak— Pada saat pencarian gerakan tari, biasanya tim KRSI Teknik Elektro Universitas Brawijaya melihat contoh gerakan, memperkirakan sudut di setiap sendi, kemudian diproses oleh Mikrokontroller untuk menggerakkan motor DC servo di setiap sendinya. Kekurangan metode ini adalah proses *trial* yang tidak sebentar untuk mencari gerakan tari sesuai yang diinginkan.

Pada skripsi ini akan dirancang aplikasi untuk menggerakkan motor DC servo pada lengan robot sesuai koordinat yang telah ditentukan dengan memasukkan nilai koordinatnya dari PC. Metode yang digunakan untuk mendapatkan perubahan sudut tiap sendi pada lengan robot menggunakan Persamaan Invers Kinematik. Pada referensi yang didapat mengenai Invers Kinematik posisi basis berada di tanah sedangkan lengan robot berada di atas. Oleh sebab itu ada beberapa variabel yang didapat pada referensi tersebut mengalami modifikasi pada perancangan ini. Masukan koordinat adalah dari PC yang menggunakan *User Interface* yang dibuat dari Qt.

Hasil yang didapatkan pada pengujian keseluruhan sistem adalah kesalahan yang terjadi adalah karena nilai karakterisasi masing-masing servo yang masih memiliki error sehingga berpengaruh terhadap keseluruhan gerakan menuju koordinat tujuan.

Kata Kunci—Lengan Robot, Invers Kinematik, Qt.

I. PENDAHULUAN

Kontes Robot Seni tari Indonesia (KRSI) merupakan suatu ajang kompetisi perancangan dan pembuatan robot yang disertai dengan unsur-unsur seni dan budaya bangsa yang telah terkenal di bumi pertiwi. Pada saat pencarian gerakan tari, biasanya tim KRSI Teknik Elektro Universitas Brawijaya melihat contoh gerakan, memperkirakan sudut di setiap sendi, kemudian diproses oleh Mikrokontroller untuk menggerakkan motor DC servo di setiap sendinya. Kekurangan metode ini adalah proses *trial* yang tidak sebentar untuk mencari gerakan tari sesuai yang diinginkan.

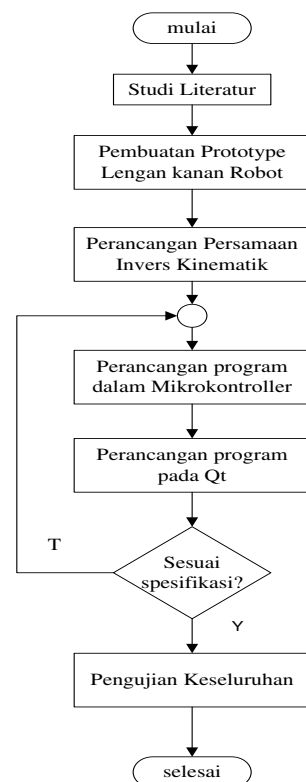
Permasalahan yang tidak efisien tersebut pernah diangkat dengan memasang exoskeleton yang di setiap sendinya dilengkapi sensor posisi sudut kemudian data diproses untuk menggerakkan sendi pada robot humanoid hingga gerakan robot sesuai yang diinginkan, kemudian data sudut pada setiap persendian dapat ditampilkan ke *Personal Computer* untuk dimasukkan ke dalam program pergerakan otomatis robot dimana hasil akhirnya adalah Sendi *Exoskeleton* berhasil menggerakkan sendi robot humanoid dengan kesalahan rata-rata $0,59^\circ$, kesalahan terbesar 1° dan kesalahan terkecil 0° . Sementara sudut yang ditampilkan ke PC

memiliki kesalahan rata-rata $1,13^\circ$, kesalahan terbesar 4° dan kesalahan terkecil 0° [1].

Pada skripsi ini akan dirancang aplikasi untuk menggerakkan motor DC servo pada lengan robot sesuai koordinat yang telah ditentukan dengan memasukkan nilai koordinatnya dari PC. Metode yang digunakan untuk mendapatkan perubahan sudut tiap sendi pada lengan robot menggunakan Persamaan Invers Kinematik. Pada referensi yang didapat mengenai Invers Kinematik posisi basis berada di tanah sedangkan lengan robot berada di atas. Oleh sebab itu ada beberapa variabel yang didapat pada referensi tersebut mengalami modifikasi pada perancangan ini. Masukan koordinat adalah dari PC yang menggunakan *User Interface* yang dibuat dari Qt.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir yang ditunjukkan dalam Gambar 1.

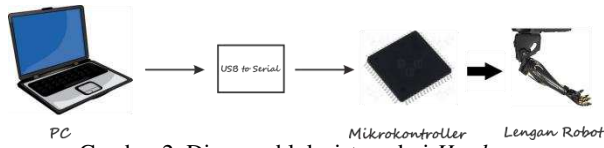


Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Prototype Lengan Kanan Robot

A. Perancangan Hardware

Dalam perancangan sistem ini pada bagian *hardware* terdapat beberapa blok diagram yang meliputi komputer

sebagai pengirim data atau input ke mikrokontroller, USB to serial, mikrokontroller pengolah data, servo sebagai aktuator, LCD sebagai penampil sudut servo.



Gambar 2. Diagram blok sistem dari Hardware

Penjelasan masing-masing blok diagram:

a. PC (Personal Computer)

Berfungsi sebagai pengontrol yang mengirimkan data koordinat ke mikrokontroller dan menyimpan aplikasi yang akan dibuat.

b. USB to Serial

Merupakan rangkaian yang digunakan untuk komunikasi serial atau sebagai jembatan data antara PC dengan mikrokontroller. Rangkaian ini digunakan karena adanya perbedaan level tegangan yang terjadi pada PC dengan Mikrokontroller, komunikasi yang terjadi merupakan UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Komunikasi ini hanya satu arah yaitu dari PC untuk menggerakkan servo tanpa ada umpan balik ke PC.

c. ATMEGA 16

Merupakan IC Mikrokontroller yang berfungsi sebagai pemroses data koordinat dari PC (Personal Computer) agar dapat menggerakkan servo sesuai keinginan.

d. Servo Lengan Kanan

Merupakan bagian dari robot yang berfungsi sebagai aktuator dan pada alat ini merupakan bagian yang akan dikendalikan sesuai dengan koordinat yang diinginkan. Jenis servo yang digunakan adalah motor servo standar 180° sebanyak 5 buah antara lain:

- i. Servo Lengan Atas Putar Kanan
- ii. Servo Ketiak Kanan
- iii. Servo Siku Kanan
- iv. Servo Lengan Bawah Putar Kanan
- v. Servo Pergelangan Kanan.

B. Perancangan Persamaan Invers kinematik

Basement disebut link 0. Batang yang bergerak dan berhubungan dengan link 1 disebut link 2 dan seterusnya. Sehingga secara keseluruhan lengan robot terbentuk dari link 0, link 1, link 2, dan link 3. Antara link yang satu dengan link tetangganya dihubungkan dengan joint. Joint $i+1$ adalah joint yang menghubungkan link i dengan link $i+1$. Sehingga joint 1 menghubungkan link 0 dengan link 1. Sedangkan link 1 dan link 2 dihubungkan dengan joint 2 dan seterusnya. Frame merupakan sistem koordinat yang menggambarkan posisi sebuah link relatif terhadap link lainnya. Sistem koordinat ini melekat pada link. Penomoran frame sesuai dengan penomoran link yang dilekatinya. Frame ditempatkan pada link sehingga sumbu Z dari frame $\{i\}$ yaitu Z_i sejajar dengan sumbu putar (putar) dari joint i . [2]

Saat didapat sudut joint θ_1, θ_2 maka dapat dijabarkan koordinat end-effector x dan y. Untuk memerintah robot untuk berpindah ke lokasi tujuan maka dibutuhkan invers.

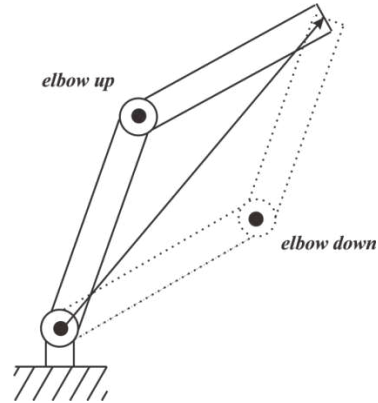
Invers Kinematik berfokus pada penentuan nilai-nilai variabel-variabel joint agar didapat posisi yang diinginkan dan orientasi end-effector robot.

Jika diberikan (x,y) koordinat dalam daerah jangkauan kemungkinan terdapat 2 solusi seperti dalam Gambar 3 yang disebut konfigurasi *elbow up* dan *elbow down* atau mungkin hanya terdapat satu solusi jika lengan diperpanjang hingga mencapai jangkauan koordinat yang dituju.

Sudut θ_2 dapat dicari dengan menggunakan Hukum Kosinus yang terlihat dalam Gambar 4.

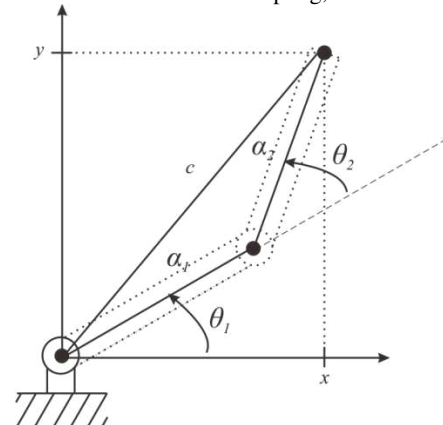
$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - \alpha_1^2 - \alpha_2^2}{2\alpha_1\alpha_2} := D. \quad (1)$$

$$\text{Sehingga } \theta_2 \text{ dapat dijabarkan sebagai } \theta_2 = \cos^{-1} D. \quad (2)$$



Gambar 3 Konfigurasi *elbow up* dan *elbow down*

Sumber: Mark W. Spong, 2004



Gambar 4 Penyelesaian untuk sudut-sudut joint pada lengan planar dua link

Sumber: Mark W. Spong, 2004

Cara terbaik untuk mendapatkan θ_2 dengan memperhatikan bahwa $\cos(\theta_2)$ pada Persamaan (2) sehingga $\sin(\theta_2)$ adalah

$$\sin \theta_3 = \pm \sqrt{1 - D^2} \quad (3)$$

Sehingga θ_3 dapat ditulis

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D}. \quad (4)$$

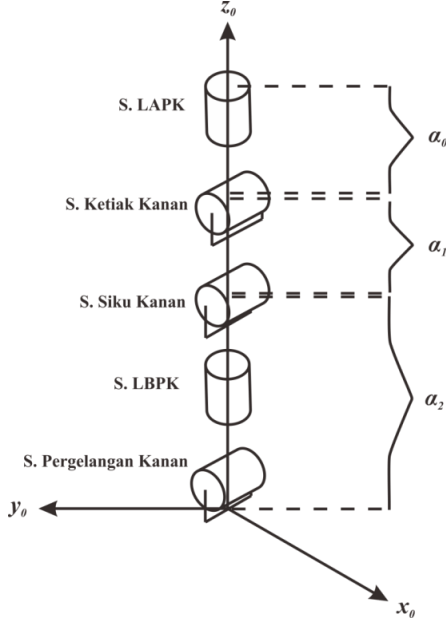
Keuntungan dari pendekatan ini adalah tanda positif dan negatif pada Persamaan (4) yang mengakibatkan solusi untuk konfigurasi *elbow up* dan *elbow down* dapat terselesaikan. Sehingga θ_1 dapat ditulis

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{y}{x} - \tan^{-1} \left(\frac{\alpha_2 \sin \theta_2}{\alpha_1 + \alpha_2 \cos \theta_2} \right) \quad (5)$$

Oleh karena θ_1 berhubungan dengan θ_2 secara fisik maka untuk setiap nilai θ_1 yang berbeda adalah dari nilai θ_2 yang dipilih.

C. Pendeskripsian frame lengan Robot

Perancangan kinematika lengan robot harus didasarkan pada pendeskripsian frame lengan robot. Persamaan invers dari Mark W. Spong memiliki basis di bawah, berbeda posisi dengan *prototype* lengan kanan robot yang dibuat. Oleh sebab itu terdapat beberapa perubahan pada persamaannya.



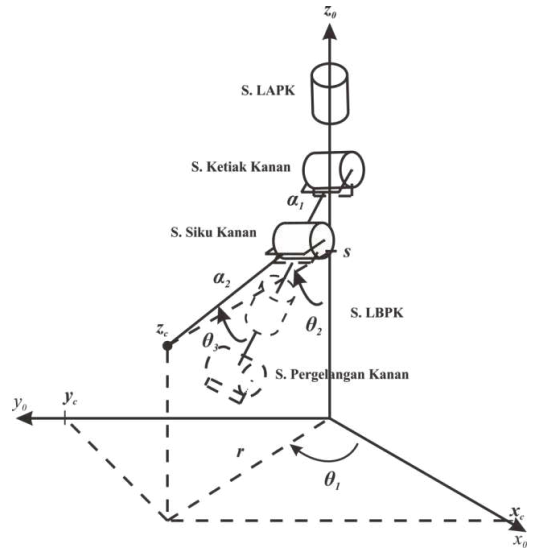
Gambar 5. Pendeskripsian lengan robot

Tabel 4.1. Panjang masing-masing link pada lengan robot.

Link	Panjang (cm)
0	4.5
1	6
2	7

Panjang *link* 1 dan *link* 2 pada Gambar 5 dilambangkan sebagai α_1 dan α_2 . Nilai *link* 0 tidak diperhitungkan dalam Persamaan invers kinematik.

Terdapat 3 servo yang bergerak agar posisi *end-effector* robot dapat mencapai koordinat yang diinginkan. Berurutan yang bergerak adalah Servo Lengan Atas Putar Kanan, Servo Ketiak Kanan, dan Servo Siku Kanan. Nilai perubahan sudut servo-servo tersebut didapat dari persamaan invers kinematik yang mengalami perubahan dari persamaan invers kinematik Mark W. Spong



Gambar 6. Posisi akhir lengan robot pada koordinat yang dituju

Gambar 6 memperlihatkan sudut θ_1 , θ_2 , dan θ_3 yang merupakan perubahan sudut yang terjadi untuk mencapai koordinat yang dituju. Nilai θ_1 adalah perubahan sudut Servo Lengan Atas Putar Kanan, θ_2 adalah perubahan sudut Servo Ketiak Kanan, dan θ_3 adalah perubahan sudut Servo Siku Kanan.

Nilai θ_1 didapat dari

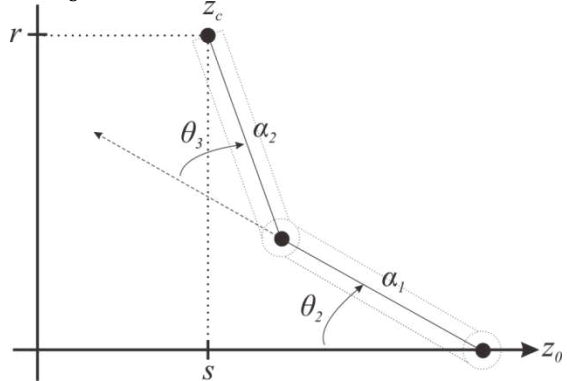
$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{y_c}{x_c} \quad (6)$$

Penjelasan Gambar 7 prinsipnya sama dengan Gambar 4, namun yang berbeda adalah posisi basisnya sehingga menyebabkan beberapa nilai mengalami penyesuaian sehingga Persamaan (7) untuk mendapatkan nilai sudut θ_3 berasal dari Persamaan (1) sehingga

$$\cos \theta_3 = \frac{r^2 + s^2 - \alpha_1^2 - \alpha_2^2}{2\alpha_1\alpha_2} := D. \quad (7)$$

dimana $s = \alpha_1 + \alpha_2 - z_c$ dan $r = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$. Nilai s dalam Persamaan (7) berbeda dengan dalam Persamaan (1) karena posisi basis yang berbeda. Persamaan (8) berasal dari Persamaan (2) sehingga θ_3 dapat ditulis

$$\theta_3 = \cos^{-1} D. \quad (8)$$



Gambar 7. Proyeksi Servo Ketiak Kanan pada bidang z_0 - r

Cara terbaik mendapatkan θ_3 dengan memperhatikan nilai $\cos \theta_3$ dari Persamaan (8) maka $\sin \theta_3$ didapatkan

$$\sin \theta_3 = \pm \sqrt{1 - D^2} \quad (8)$$

Persamaan (8) berasal dari Persamaan (3) sehingga nilai θ_3 dapat ditulis sebagai

$$\theta_3 = \tan^{-1} \frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D}. \quad (9)$$

Persamaan (9) berasal dari Persamaan (4)

Keuntungan dari pendekatan ini adalah tanda positif dan negatif pada Persamaan (9) yang mengakibatkan posisi Servo Siku Kanan ada di atas atau di bawah dapat terselesaikan.

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{r}{s} - \tan^{-1} \left(\frac{\alpha_2 \sin \theta_3}{\alpha_1 + \alpha_2 \cos \theta_3} \right) \quad (10)$$

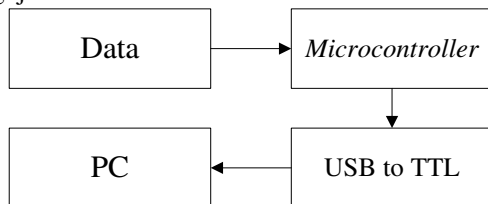
Persamaan (10) berasal dari Persamaan (5).

Oleh karena θ_2 berhubungan dengan θ_3 secara fisik maka untuk setiap nilai θ_2 yang berbeda adalah dari nilai θ_3 yang dipilih.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

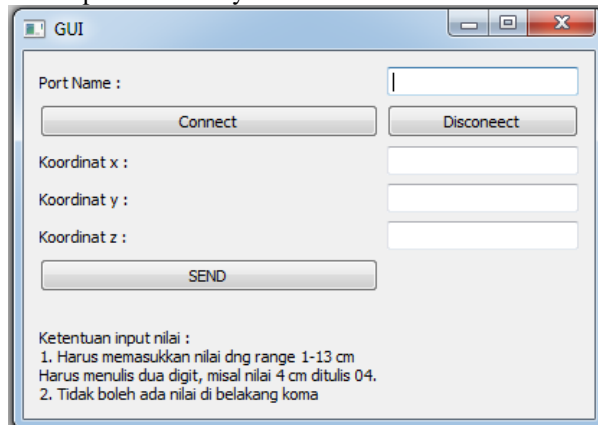
A. Komunikasi Serial

Data koordinat yang diinginkan dari PC yang dikirim ke Mikrokontroler seperti terlihat pada skema pengujian dalam Gambar 8



Gambar 8. Skema pengujian Komunikasi Serial

Program interface yang telah dibuat di program Qt yang terlihat dalam Gambar 9 diuji apakah dapat mengirim data sesuai paket data yang diinginkan yang dilihat pada PC lainnya .



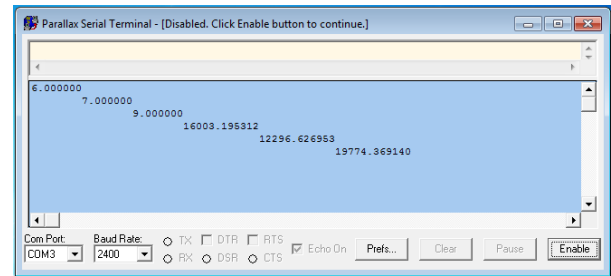
Gambar 9. Tampilan *interface* pada PC untuk mengirim data koordinat yang diinginkan

Data yang perlu dituliskan pada interface adalah nama *port name* yang sesuai dengan letak USB to TTL dan koordinat (x,y,z) tujuan yang diinginkan. Setelah sudah dapat diklik CONNECT lalu klik SEND seperti terlihat dalam Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan *interface* yang sudah diberi masukan dan dikirim

Setelah itu kita dapat melihat hasil pengiriman data yang telah dikirim di PC lainnya menggunakan aplikasi Parallax Serial Terminal seperti terlihat dalam Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan data yang dikirim pada PC lainnya

Hasil data yang diterima sudah sesuai dengan paket data yang diterima. Terdapat variabel penanda yaitu karakter 'u'. Penanda tersebut digunakan pada program mikrokontroler untuk diambil data yang perlu diolah. Data diolah pada persamaan invers kinematik.

B. Sinyal PWM

Sinyal PWM yang diuji yang memiliki nilai T_{ON} pada 600 us-2500 us karena servo kebanyakan nilai range kerjanya pada sekitar nilai tersebut.

Tabel 1. Data perbandingan T_{ON} teori dengan T_{ON} praktik

TOP	T_{ON} teori (ms)	T_{ON} praktek(ms)	Error (%)
6634,52	0,60	0,60	0,00
7187,48	0,65	0,64	1,50
7740,44	0,70	0,72	2,80
8293,4	0,75	0,72	4,00
8846,36	0,80	0,8	0,00
9399,32	0,85	0,88	3,40
9952,28	0,90	0,9	0,00
10505,24	0,95	0,95	0,00
11.058,20	1,00	1,02	1,90
11.611,16	1,05	1,04	0,90
12.164,12	1,10	1,10	0,00
12.717,08	1,15	1,15	0,00
13.270,04	1,20	1,20	0,00
13.823	1,25	1,25	0,00
14.375,96	1,30	1,28	1,50
14.928,92	1,35	1,36	0,70
15.481,88	1,40	1,40	0,00
16.034,84	1,45	1,44	0,60
16.587,80	1,50	1,52	1,30
17.140,76	1,55	1,52	1,90
17.693,72	1,60	1,60	0,00
18.246,68	1,65	1,67	1,10
18.799,64	1,70	1,72	1,10
19.352,60	1,75	1,74	0,50
19.905,56	1,80	1,79	0,50
20.458,52	1,85	1,84	0,50
21.011,48	1,90	1,88	1,00
21.564,44	1,95	1,92	1,50

22.117,40	2,00	2,00	0,00
22.670,36	2,05	2,07	0,90
23.223,32	2,10	2,08	0,90
23.776,28	2,15	2,16	0,40
24.329,24	2,20	2,21	0,40
24.882,20	2,25	2,24	0,40
25.436,16	2,30	2,32	0,80
25.988,12	2,35	2,33	0,80
26.541,08	2,40	2,40	0,00
27.094,04	2,45	2,48	1,20
27.647	2,50	2,48	0,80
TOTAL			0,85

Nilai T_{ON} yang diinginkan dengan memberi nilai TOP yang sesuai dari persamaan pada datasheet

$$\frac{1}{T_{ON}} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \cdot (1 + TOP)} \quad (11)$$

$$TOP = (f_{clk_I/O} \cdot T_{ON}) - 1 \quad (12)$$

Dimana nilai *clock* eksternalnya adalah 11,0592 MHz dan prescaler 1.

C. Motor DC Servo

Dari kelima motor DC Servo yang terpasang hanya tiga motor yang berkaitan langsung dengan persamaan invers kinematik yaitu Servo Lengan Atas Putar Kanan, Servo Ketiak Kanan, dan Servo Siku Kanan. Oleh karena itu ketiga servo tersebut diuji bagaimana hubungan antara nilai TOP yang diberikan dengan sudut yang dihasilkan. Dari pengujian tersebut dapat diperoleh persamaan linier antara nilai TOP dengan sudutnya.

Tabel 2. Data pengujian posisi nilai TOP yang diberikan pada Servo Hitec terhadap sudut yang dihasilkan pada posisi Servo Lengan Atas Putar Kanan

TOP	T_{ON} (ms)	Sudut (°)
6634,52	0,6	Tidak bergerak di posisi manapun
7187,48	0,65	Tidak bergerak di posisi manapun
8846,36	0,8	Tidak bergerak di posisi manapun
9952,28	0,9	90
12717,08	1,15	70
16587,8	1,5	45
20458,52	1,85	20
22117,4	2,0	10
22670,36	2,05	5
23223,32	2,1	0

Tabel 3. Data pengujian posisi nilai TOP yang diberikan pada Servo Corona terhadap sudut yang dihasilkan pada posisi Servo Ketiak Kanan

TOP	T_{ON} (ms)	Sudut (°)
6634,52	0,60	Tidak bergerak di posisi manapun
7740,44	0,70	Tidak bergerak di posisi manapun
8846,36	0,80	Tidak bergerak di posisi manapun
9952,28	0,90	0
15481,88	1,40	50
16587,8	1,50	75
17693,72	1,60	80
18799,64	1,70	90
19905,56	1,80	105
22670,36	2,05	130

Tabel 4 Data pengujian posisi nilai TOP yang diberikan pada Servo Corona terhadap sudut yang dihasilkan pada posisi Servo Siku Kanan

TOP	T_{ON} (ms)	Sudut (°)
9952,28	0,9	130
12164,12	1,10	110
14375,96	1,30	90
16587,8	1,5	60
19905,56	1,80	30
21011,48	1,90	20
23223,32	2,10	0

Dari data ketiga tabel di atas dapat dihasilkan persamaan konversi dari sudut ke nilai TOP masing – masing servo. Servo Lengan Atas Putar Kanan memiliki persamaan konversi

$$y = -150,67 \cdot x + 23413 \quad (13)$$

Servo Ketiak Kanan memiliki persamaan konversi

$$y = 95,433 \cdot x + 10073 \quad (14)$$

dan Servo Siku Kanan memiliki persamaan konversi

$$y = -99,687 \cdot x + 23012 \quad (15)$$

dimana

$$y = TOP$$

$$x_n = \theta_n (^\circ) \quad (n=1,2,3)$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Sinyal PWM mampu dibangkitkan Mikrokontroler dengan rentang antara 0,6-2,5 ms, dengan error yang paling kecil sebesar 0,00% dan paling besar 4%.
2. Komunikasi serial antara PC dengan Mikrokontroler berhasil dilakukan
3. Hasil pengujian ketiga servo yang berhubungan dengan persamaan invers kinematik memiliki hubungan nilai T_{ON} dengan sudut yang berbeda. Servo Lengan Atas Putar Kanan pada posisi 0° membutuhkan T_{ON} sebesar 2,1 ms dan pada posisi 90° membutuhkan T_{ON} sebesar 0,9 ms. Servo Ketiak Kanan pada posisi 0° membutuhkan T_{ON} sebesar 0,9 ms dan pada posisi 90° membutuhkan T_{ON} sebesar 1,7 ms. Servo Siku Kanan pada posisi 0° membutuhkan T_{ON} sebesar 2,1 ms dan pada posisi 90° membutuhkan T_{ON} sebesar 1,3 ms. Dari ketiga rentang T_{ON} pada ketiga servo yang berbeda persamaan linier konversi dari perubahan nilai sudut terhadap nilai TOP-nya juga berbeda.
4. Perancangan aplikasi untuk menggerakkan motor DC Servo pada lengan robot kanan sesuai koordinat yang telah ditentukan dari PC dapat dilakukan sampai servo dapat bergerak sampai menuju koordinat yang telah ditentukan. Kesalahan yang terjadi adalah karena nilai karakterisasi masing-masing servo yang masih memiliki error sehingga berpengaruh terhadap keseleruhan gerakan menuju koordinat tujuan.

B. Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah.

1. Penelitian ini menggunakan persamaan invers kinematik untuk Servo Lengan Kanan sehingga penelitian selanjutnya dapat dikembangkan

- dengan bagian Lengan Kiri dan atau dengan kuadran yang lebih luas.
2. Bisa membuat *prototype* yang lebih baik dari segi mekanik dan kepresisian.

REFERENSI

- [1] Alfauzi, Tanshuda. 2014. *Perancangan Exoskeleton Motion Capture System sebagai Panduan Gerakan Tari pada Robot Humanoid KRSI*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [2] Spong, Mark W. 2007. *Robot Dynamics and Control*. John Wiley & Sons. New York.